

Titel

Verfahren zum Löschen von in einer Schaltung auftretenden Latch-Ups sowie Anordnungen zum Durchführen des Verfahrens

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Löschen von in einer Schaltung auftretenden Latch-Ups, wobei bei strombegrenzter Versorgungsspannung eine Unterspannung detektiert wird, nach Detektieren eines Latch-Up die Versorgungsspannung abgeschaltet und in der Schaltung befindliche Ladung abgebaut wird.

Ferner betrifft die Erfindung Anordnungen zum Durchführen des Verfahrens zum Schutz von strahlungsempfindlichen aktiven Schaltungskomponenten einer elektronischen Schaltung.

Stand der Technik

Eine derartige Anordnung ist beispielsweise aus US 6,064,555 bekannt.

5

In Anwendungsbereichen für elektronische Schaltungen, in denen aufgrund der Umgebungsbedingungen hohe Strahlendosen erwartet werden und trotzdem eine lange Haltbarkeit gefordert wird, wie beispielsweise bei Anwendungen im Weltraum, werden derzeit strahlungsresistente Schaltungskomponenten eingesetzt. Solche strahlungsresistenten Schaltungskomponenten haben den Nachteil, dass sie zum einen erheblich teurer sind als vergleichbare, nicht strahlungsresistente Schaltungskomponenten und zum anderen nicht jeder gewünschte Integrationsgrad bzw. Schaltungskomponententyp in strahlungsfester Ausführung erhältlich ist.

10

15

Bei Bestrahlung mit hohen Strahlungsdosen zeigen strahlungsempfindliche aktive Schaltungskomponenten im wesentlichen zwei Effekte:

- 5       • Langzeiteffekte (Alterung), wie eine durch Gamma-Strahlung erzeugte Verschiebung von Arbeitspunkten, oder eine Einlagerung geladener Teilchen in einen Chip. Diese Effekte sind jedoch in vielen Fällen tolerierbar bzw. kompensierbar.
- 10       • Plötzliche Effekte (Single Event Effects, SEE), wie „Umkippen“ einzelner Bits in digitalen Schaltungen, Entstehen kurzer Pulse in analogen Schaltungen oder bei CMOS-Schaltungskomponenten auftretende sogenannte Latch-Ups.
- 15       • Letztere werden dadurch verursacht, dass ionisierende Teilchen, beispielsweise Alpha-, Beta-, Schwerionen- oder Protonenstrahlung, die parasitär in dem CMOS-Substrat enthaltenen Thyristoren zünden, was einen schnellen Stromanstieg und - ohne Schutzmaßnahmen - eine Zerstörung der Schaltungskomponente zur Folge hat.
- 20       • Bisherige Konzepte beschränken sich darauf, die Stromaufnahme einer Schaltung zu messen und abzuschalten, wenn die Stromaufnahme einen eingestellten Sollwert übersteigt; dadurch wird/werden der/die parasitäre/n Thyristor/en gelöscht. Ferner sind auch Schutzschaltungen gebräuchlich,
- 25       • mit welchen nur eine Strombegrenzung vorgenommen wird.
- 30

(Siehe beispielsweise die Veröffentlichung "Active input filter" von Giulio Simonelli und Philippe Perol, S. 1-6.)

Die bisher eingesetzten Schaltungen haben folgende Nachteile. Eventuelle zur Filterung der Betriebsspannung in der zu schützenden Schaltung vorhandene Kondensatoren entladen sich beim Auftreten eines Latch-Up über den parasitären Thyristor; dies macht eine Zerstörung der jeweils betroffenen Schaltungskomponenten noch wahrscheinlicher, da beispielsweise in einem Chip mehr Energie auf engstem Raum in Wärme umgesetzt wird.

Ferner fallen Schaltungskomponenten mit einer im Vergleich zu anderen Schaltungskomponenten geringeren Stromaufnahme, in welchen ein Latch-Up ausgelöst wird, neben Schaltungskomponenten mit einer höheren Stromaufnahme in der Schaltung nicht auf, so dass auch keine rechtzeitige Abschaltung vorgenommen wird bzw. werden kann.

Schaltungen mit veränderlicher oder pulsartiger Stromaufnahme können ohnehin nur unzureichend geschützt werden. Ein Spannungsabfall an einem Strom-Messwiderstand führt dazu, dass die zu schützende Schaltung mit weniger als der Nominalspannung versorgt wird, insbesondere dann, wenn deren Stromaufnahme stark schwankt, und somit eine Primärspannungserhöhung zur Kompensation nicht in Frage kommt.

#### Beschreibung der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zum Löschen von Latch-Ups anzugeben, mit welchem die Nachteile und Beschränkungen der bisher angewendeten Maßnahmen beseitigt sind. Um eine Konvertierung strahlungsempfindlicher Schal-

tungsdesigns bei Anwendungen mit einer Einwirkung hoher Strahlendosen zu ermöglichen, ist es ferner Aufgabe der Erfindung, ein Spannungsversorgungskonzept anzugeben, mit welchem konventionelle, nicht strahlungsresistente Schaltungs-  
5 tungskomponenten vor einer Zerstörung bei Auftreten eines Latch-Up geschützt sind.

Gemäß der Erfindung wird diese Aufgabe bei einem Verfahren zum Löschen von Latch-Ups nach dem Oberbegriff des An-  
10 spruchs 1 dadurch gelöst, dass die in der Schaltung befindliche Ladung mittels eines Kurzschlusschalters abgebaut wird und beim Wiederhochfahren der Versorgungsspannung eine Unterspannungsdetektion kurzzeitig unterdrückt wird. Nach Ablauf der Entladezeit wird somit die zu schützende Schal-  
15 tung wieder mit Spannung versorgt. Hierbei verhindert ein Zeitglied, das die Unterspannungsdetektion unterdrückt, ein fälschliches Auslösen der Schutzschaltung beim Hochfahren.

Ferner wird bei einer Anordnung zum Durchführen des Verfahrens nach Anspruch 1 zum Schutz von strahlungsempfindlichen  
20 aktiven Schaltungselementen einer elektronischen Schaltung die elektronische Schaltung in Gruppen von aktiven Schaltungskomponenten mit in einem vorgegebenen Bereich ähnlich großer Stromaufnahme unterteilt. Hierbei ist mindestens ei-  
25 ner dieser Gruppen von aktiven Schaltungskomponenten mit in einem vorgegebenen Bereich ähnlich großer Stromaufnahme eine Schutzschaltung zugeordnet.

Das erfindungsgemäße Konzept geht somit über ein bisher üb-  
30 liches, einfaches Abschalten bei Überschreiten bestimmter Spannungs- oder Stromwerte hinaus. Gemäß dem Grundgedanken der Erfindung wird die zu schützende elektronische Schal-

tung in kleine, vorzugsweise möglichst kleine Gruppen von Schaltungskomponenten mit ähnlicher, d.h. in einem vorgegebenen Bereich annähernd gleich großer Stromaufnahme aufgeteilt, damit ein Latch-Up in Schaltungskomponenten bzw. Gruppen von Schaltungskomponenten mit im Vergleich zu anderen Schaltungskomponenten geringeren Stromaufnahme eindeutig von normalen Änderungen im Versorgungsstrom einer Schaltungskomponente bzw. Gruppen von Schaltungskomponenten mit einer höheren, gegebenenfalls erheblich größeren Stromaufnahme unterschieden werden kann.

Gemäß der Erfindung ist hierzu für jede dieser Gruppen von Schaltungskomponenten mit einer ähnlichen, d.h. in einem vorgegebenen Bereich annähernd gleich großen Stromaufnahme über eine - an die Versorgungsspannung und Stromaufnahme der jeweiligen Gruppe angepasste - Schutzschaltung vorgesehen, die einen abschaltbaren Spannungsregler mit einstellbarer Strombegrenzung, ein Stellglied, einen Vergleicher zur Detektion von Unterspannung, zwei Monoflops, einen Kurzschlussschalter mit Strombegrenzung und am Ausgang mindestens einen Kondensator aufweist.

Um einen Einfluss des Ausgangsstroms auf die Ausgangsspannung zu vermeiden, ist die Einheit zur Stromdetektierung vor einer Einheit zur Spannungsregelung angeordnet.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind zum Abschalten von mehreren oder allen Gruppen von aktiven Schaltungskomponenten, welchen jeweils eine Schutzschaltung zugeordnet ist, eine Signalisierungsleitung und eine Steuerleitung vorgesehen, welche die Schutzschaltungen der zu-

sammengefassten Gruppen von aktiven Schaltungskomponenten ausgangsseitig verbinden. Hierzu sind die Signalleitungen und die Steuerleitung mit einem zentralen Monoflop verbunden.

5

Hierdurch ist erreicht, dass, sobald ein Latch-Up in einer Gruppe von einer der Schutzschaltungen detektiert wird, die Signalisierungsleitung gesetzt und dadurch das zentrale Monoflop gestartet wird. Durch das zentrale Monoflop werden  
10 dann über die Steuerleitung alle Spannungsregler der einzelnen Schutzschaltungen ausgeschaltet und alle Kurzschluss-schalter dieser Schutzschaltungen aktiviert. Nach einer vorgegebenen kurzzeitigen Einschaltverzögerung wird durch jeweils in mehreren oder allen Gruppen von aktiven  
15 Schaltungskomponenten einer elektrischen Schaltung die Versorgungsspannung wieder eingeschaltet und dadurch die gesamte zu schützende elektronische Schaltung wieder hochgefahren.

## 20 Beschreibung der Zeichnungen

Es zeigen:

Fig.1 eine Schaltungstopologie mit einer Latch-Up-Detektion;

25

Fig.2 eine Ausführungsform einer Schutzschaltung zum Schutz einer Gruppe von Schaltungskomponenten, und

30 Fig.3 eine Schaltungsanordnung zum Schutz von mehreren Gruppen von Schaltungskomponenten.

Beschreibung der Erfindung

Entsprechend dem erfindungsgemäßen Konzept, eine zu schützende elektronische Schaltung in vorzugsweise möglichst kleine Gruppen von Schaltungskomponenten mit ähnlicher, d.h. in einem vorgegebenen Bereich annähernd gleich großer Stromaufnahme zu unterteilen, ist in Fig.1 ein Beispiel einer Schaltungstopologie schematisiert dargestellt. In dem wiedergegebenen Beispiel werden von einem Netzteil ein Zentralrechner CPU sowie beispielsweise ein Flash-Eprom, ein Analog-Digital-Wandler ADC sowie beispielsweise zwei RAM-Speicher mit Strom versorgt.

Gemäß der Erfindung ist jeder der vorstehend als Beispiel angeführten Schaltungskomponenten CPU bis RAM eine Schutzschaltung SSG zugeordnet. Auf diese Weise kann ein Latch-Up in einer der Schaltungskomponenten mit einer verhältnismäßig kleinen Stromaufnahme eindeutig und zuverlässig von beispielsweise einer Änderung im Versorgungsstrom einer Schaltungskomponente mit einer erheblich größeren Stromaufnahme unterschieden werden.

Sobald daher in einer der angeschlossenen Schaltungskomponenten ein Latch-Up auftritt, steigt in der betroffenen Schaltungskomponente die Stromaufnahme entsprechend an, worauf ein in der zugeordneten Schutzschaltung vorgesehener Stromregler eingreift und den Stromfluss in die angeschlossene Schaltungskomponente begrenzt. Dadurch sinkt die Spannung am Ausgang unter eine vorgegebene Toleranzschwelle, so dass die Abschaltung der Versorgungsspannung stattfindet und beispielsweise, was nachstehend im einzelnen noch näher ausgeführt wird, ein nachgeordneter Kurzschlusschalter aktiviert wird. Dadurch erfolgt innerhalb weniger Mikrosekun-

den ein Sperren des Stroms. Beispielsweise wird ein durch ein Latch-Up gezündeter parasitärer Thyristor somit vor der Zerstörung der jeweiligen Schaltungskomponente gelöscht.

5 Gemäß der Erfindung kann eine einzelne von dem Latch-Up betroffene Gruppe von Schaltungselementen abgeschaltet werden oder gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung können beim Auftreten eines Latch-Up in einer Gruppe von Schaltungselementen auch mehrere oder vorteilhafterweise  
10 auch alle Gruppen von Schaltungskomponenten einer elektronischen Schaltung ausgeschaltet und nach einer kurzzeitigen Verzögerung wieder eingeschaltet werden, was nachstehend anhand von Fig.3 im einzelnen näher erläutert wird.

15 Wie in Fig.2 dargestellt, weist eine Schutzschaltung SSG zur Glättung der Versorgungsspannung einen Filterkondensator  $C_{IN}$ , einen abschaltbaren linearen Spannungsregler SR mit einstellbarer Strombegrenzung, einen Komparator COMP zur Unterspannungsdetektion, zwei Monoflops  $MF_{SP}$  und  $MF_Z$  ei-  
20 nen Kurzschlussschalter KS mit vorgeschaltetem Strombegrenzer SG und einen Kondensator  $C_{OUT}$  am Ausgang auf. Hierbei kann der Spannungsregler SR beispielsweise zwei Operationsverstärker  $OP_1$ ,  $OP_2$ , ein Shunt SH und ein Verstärkerelement VE aufweisen.

25 Die von einem Netzteil kommende unregelte Spannung  $U_{IN}$  wird zunächst mittels des Filterkondensators  $C_{IN}$  geglättet. Mittels des Shunt SH wird eine dem Stromfluss proportionale Spannung erzeugt. Im Normalbetrieb der angeschlossenen  
30 Schaltung ist diese Spannung kleiner als  $U_{BRAS}$ , weswegen der Operationsverstärker  $OP_1$  (Strombegrenzung) des Spannungsreglers SR nicht in die Regelung eingreift. Mittels des



Operationsverstärkers  $OP_2$  wird die Ausgangsspannung mit einer vorgegebenen Sollspannung  $U_{REF}$  verglichen und mittels des Stellglieds SG, das ein bipolarer oder strahlungsfester Feldeffekttransistor sein kann, solange nachgeregelt, bis  
5 die Ausgangsspannung  $U_{OUT}$  gleich einer Referenzspannung  $U_{REF}$  ist.

Tritt nun in einer angeschlossenen Schaltungsgruppe ein Latch-Up auf, so steigt die Stromaufnahme solange an, bis  
10 die Spannung am Shunt SH gleich der Spannung  $U_{BIAS}$  ist. Damit greift die Strombegrenzung in die Spannungsregelung ein und begrenzt den Stromfluss in die angeschlossene Schaltungsgruppe. Dadurch sinkt die Spannung am Ausgang soweit ab, dass sie unter eine Toleranzschwelle ( $U_{REF} - U_{TOL}$ ) fällt  
15 und dadurch den Komparator COMP auslöst. Der Komparator COMP sperrt mit Hilfe des Verstärkungselements VE den Strom und aktiviert den Kurzschlusschalter KS.

Der Kurzschlusschalter KS entlädt innerhalb weniger Mikrosekunden den Kondensator  $C_{OUT}$  am Ausgang und alle Kapazitäten, welche in der zu schützenden Schaltung selbst die Betriebsspannung stützen. Durch den Strombegrenzer SG ist der Kurzschlusschalter KS geschützt. Das Monoflop  $MF_z$  begrenzt die Abschaltzeit auf einige Millisekunden und sorgt so für  
20 eine automatische Rückstellung und ein Wiederanlaufen der Versorgungsspannung. Beim Wiederanlaufen der Versorgungsspannung sorgt das Monoflop  $MF_{SP}$ , welches die Unterspannungsdetektion unterdrückt, dafür, dass nicht fälschlicherweise eine Latch-Up-Detektion ausgelöst wird.

30

Durch das kurzzeitige Abschalten der Versorgungsspannung für die angeschlossene Gruppe von Schaltungskomponenten

wird der durch ein Latch-Up gezündete parasitäre Thyristor vor der Zerstörung des betroffenen Bauteils wieder gelöscht. Die Schaltung wird anschließend wieder neu gestartet.

5

Die vorstehend beschriebene Schaltung wird eingesetzt, wenn beim Auftreten eines Latch-Up nur eine einzelne Gruppe von Schaltungskomponenten abgeschaltet und vollkommen entladen werden soll. Häufig wird nicht nur gewünscht, sondern ist es im allgemeinen auch sehr zweckmäßig und sinnvoll, dass beim Auftreten eines Latch-Up in einer Gruppe von Schaltungskomponenten mehrere oder alle Gruppen von Schaltungselementen einer elektronischen Schaltung aus- und wieder eingeschaltet werden, um Querströme zu vermeiden. Beispielsweise soll in einer Prozessorschaltung ein Latch-Up in einem Speicherbaustein zu einem Abschalten und einem Wiederaanlaufen des Prozessors führen.

In diesem Fall kommt folgende unter Bezugnahme auf Fig.3 beschriebene Topologie zur Anwendung:

Im Unterschied zum Abschalten einer einzelnen Gruppe von Schaltungskomponenten sind zum Abschalten von mehreren oder allen Gruppen von Schaltungskomponenten einer elektronischen Schaltung ausgangsseitig eine Signalisierungsleitung SIL und eine Steuerleitung STL vorgesehen, welche die einzelnen Schutzschaltungen SSG der Gruppen von Schaltungskomponenten verbinden, und welche mit einem zentralen Monoflop MF<sub>z</sub> verbunden sind.

Detektiert eine der Schutzschaltungen SSG einen Latch-Up, so setzt diese Schutzschaltung SSG die Signalisierungsleitung SIL. Dadurch wird das zentrale Monoflop MF<sub>z</sub> gestartet,

das über die Steuerleitung STL wiederum alle Spannungsregler SR ausschaltet und alle Kurzschlusschalter KS aktiviert. Anschließend wird durch jeweils in mehreren oder allen Gruppen von aktiven Schaltungskomponenten einer elektronischen Schaltung vorgesehene Monoflops ( $MF_{SK}$ ) die Versorgungsspannung wieder hochgefahren.

Die gemäß der Erfindung mehreren oder allen Gruppen von Schaltungskomponenten einer elektronischen Schaltung zugeordneten Schutzschaltungen SSG weisen gegenüber den aus dem Stand der Technik bekannten "Schutzschaltungen" folgende Vorteile auf:

- Eine Integration der Schutzschaltungen SSG ist einfach und platzsparend möglich, da ein Spannungsreglerbaustein verwendet werden kann, welcher abschaltbar ist und bereits Spannungs- und Stromregler, sowie Unterspannungsdetektion enthält.
- Die Schwelle, ab welcher eine Strombegrenzung erfolgt, kann von außen durch eine analoge Spannung eingestellt werden. Dadurch kann die Schuttschwelle nachgestellt werden, wenn die normale Stromaufnahme der zu schützenden Gruppe von Schaltungskomponenten (wegen durch Bestrahlung auftretender höherer Leckströme) während der Einsatzdauer angestiegen ist.
- Pulsweise auftretende Ströme, wie sie Digitalerschaltungen erzeugen, werden von einem entsprechend dimensionierten Filterkondensator am Ausgang

gepuffert, so dass solche pulsweise auftretenden Ströme nicht zur Auslösung einer der Schutzschaltungen führen kann.

- 5       • Der Spannungsabfall am Strommesswiderstand wird  
ausgeregelt, sodass der angeschlossenen Schaltung  
unabhängig von der Stromaufnahme immer eine kon-  
stante Spannung zur Verfügung steht.
  
- 10       • Bestimmungsgemäß entlädt der Kurzschlusschalter  
KS alle angeschlossenen Kondensatoren, sodass die  
hier gespeicherte Energie nicht im parasitären  
Thyristor der betroffenen Schaltungskomponente  
vernichtet werden muss.
  
- 15       • Diese Verkopplung vermeidet die Entstehung von  
Querströmen in komplexen elektrischen Schaltungen  
durch die gleichzeitige Aktivierung aller Schutz-  
schaltungen.

Ansprüche

1. Verfahren zum Löschen von in einer Schaltung auftretenden Latch-Ups, wobei bei strombegrenzter Versorgungsspannung eine Unterspannung detektiert wird, nach Detektieren eines Latch-Up die Versorgungsspannung abgeschaltet und in der Schaltung befindliche Ladung abgebaut wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die in der Schaltung befindliche Ladung mittels eines Kurzschlusschalters abgebaut wird und beim Wiederhochfahren der Versorgungsspannung eine Unterspannungsdetektion kurzzeitig unterdrückt wird.

2. Anordnung zum Durchführen der Verfahren nach Anspruch 1 zum Schutz von strahlungsempfindlichen aktiven Schaltungskomponenten einer elektronischen Schaltung **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektronische Schaltung in Gruppen von aktiven Schaltungskomponenten mit in einem vorgegebenen Bereich ähnlich großer Stromaufnahme unterteilt ist, und mindestens einer dieser Gruppen von aktiven Schaltungskomponenten mit in einem vorgegebenen Bereich annähernd gleich großer Stromaufnahme eine Schutzschaltung (SSG) zugeordnet ist.

3. Anordnung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schutzschaltung einen abschaltbaren Spannungsregler (SR) mit einstellbarer Strombegrenzung, ein Stellglied (SG), einen Vergleicher (COMP) zur Detektion von Unterspannung, zwei Monoflops ( $MF_z$  und  $MF_{SK}$ ), einen Kurzschlusschalter (KS) mit Strombegrenzung und am Ausgang mindestens einen Kondensator ( $C_{OVR}$ ) aufweist.

4. Anordnung nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Einheit zur Stromdetektierung vor einer Einheit zur Spannungsregelung angeordnet ist, um so einen Einfluss des Ausgangsstroms auf die Ausgangsspannung zu vermeiden.

5. Anordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass zum Abschalten von mehreren oder allen Gruppen von aktiven Schaltungskomponenten einer elektronischen Schaltung, denen jeweils eine Schutzschaltung (SSG) zugeordnet ist, eine Signalisierungsleitung (SIL) und eine Steuerleitung (STL) vorgesehen sind, welche die Schutzschaltungen (SSG) der Gruppen von aktiven Schaltungskomponenten ausgangsseitig verbinden und ihrerseits mit einem zentralen Monoflop ( $MF_z$ ) verbunden sind, so dass bei Detektion eines Latch-Up in einer der Schutzschaltungen (SSG) über die Signalisierungsleitung (SIL) das zentrale Monoflop ( $MF_z$ ) gestartet wird, worauf über die Steuerleitung (STL) alle Spannungsregler (SR) ausgeschaltet und alle Kurzschlusschalter (KS) der Schutzschaltungen (SSG) aktiviert werden und nach einer vorgegebenen kurzzeitigen Verzögerung durch jeweils in mehreren oder allen Gruppen von aktiven Schaltungskomponenten einer elektrischen Schaltung vorgesehene Monoflops ( $MF_{SK}$ ) die Versorgungsspannung wieder hochgefahren wird.

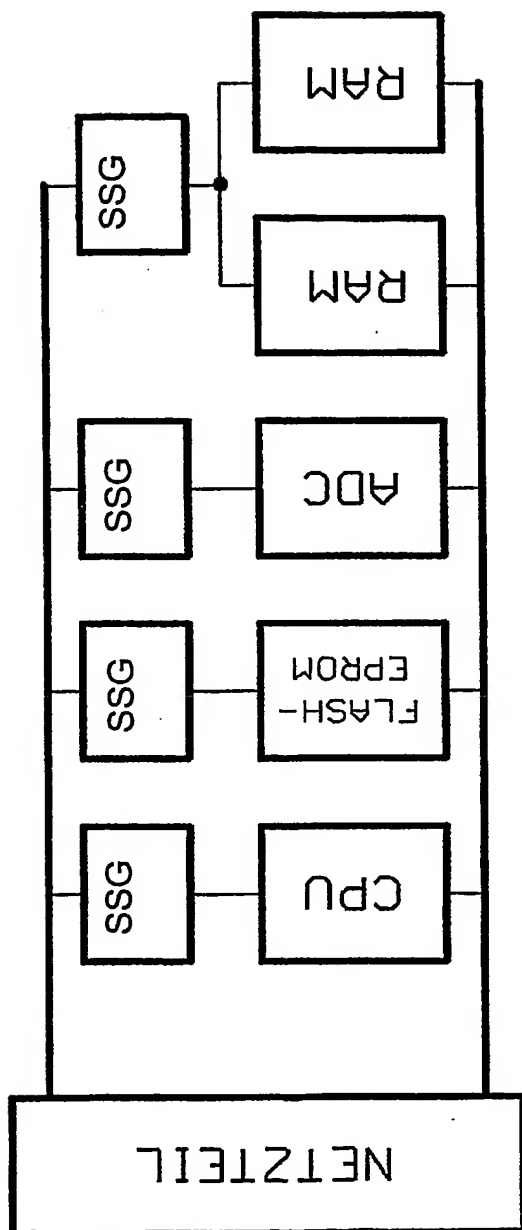


Fig.1

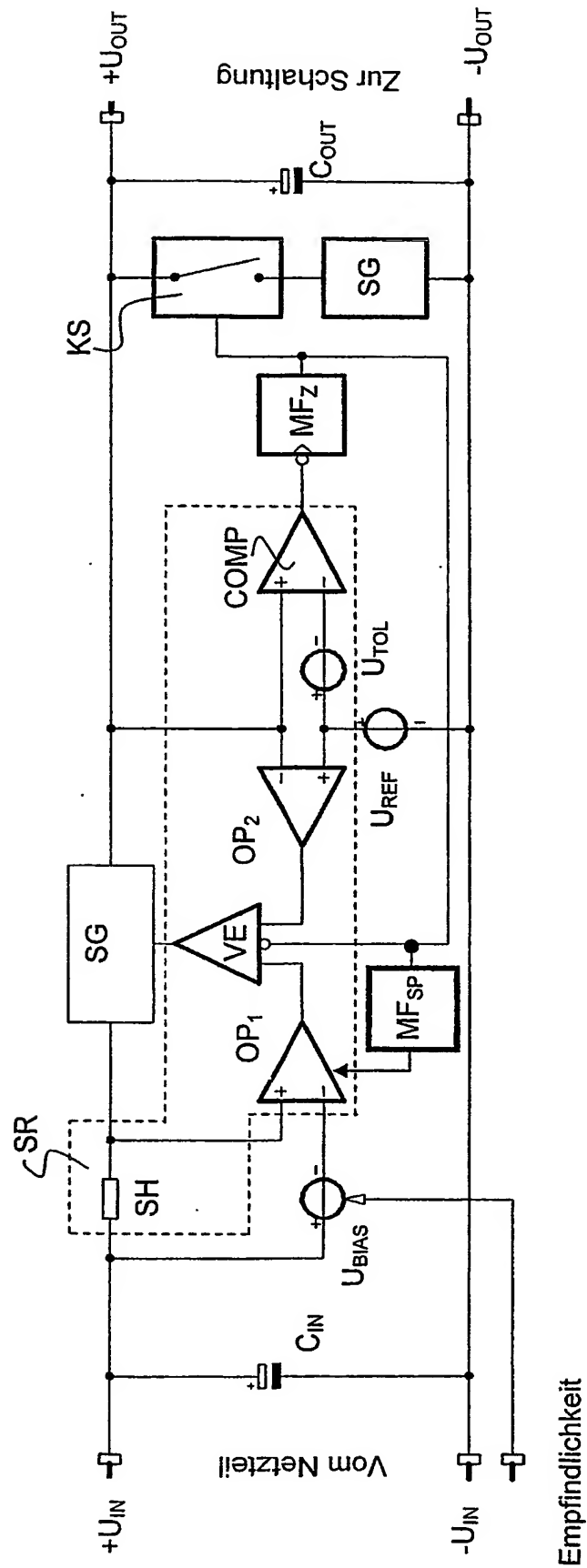
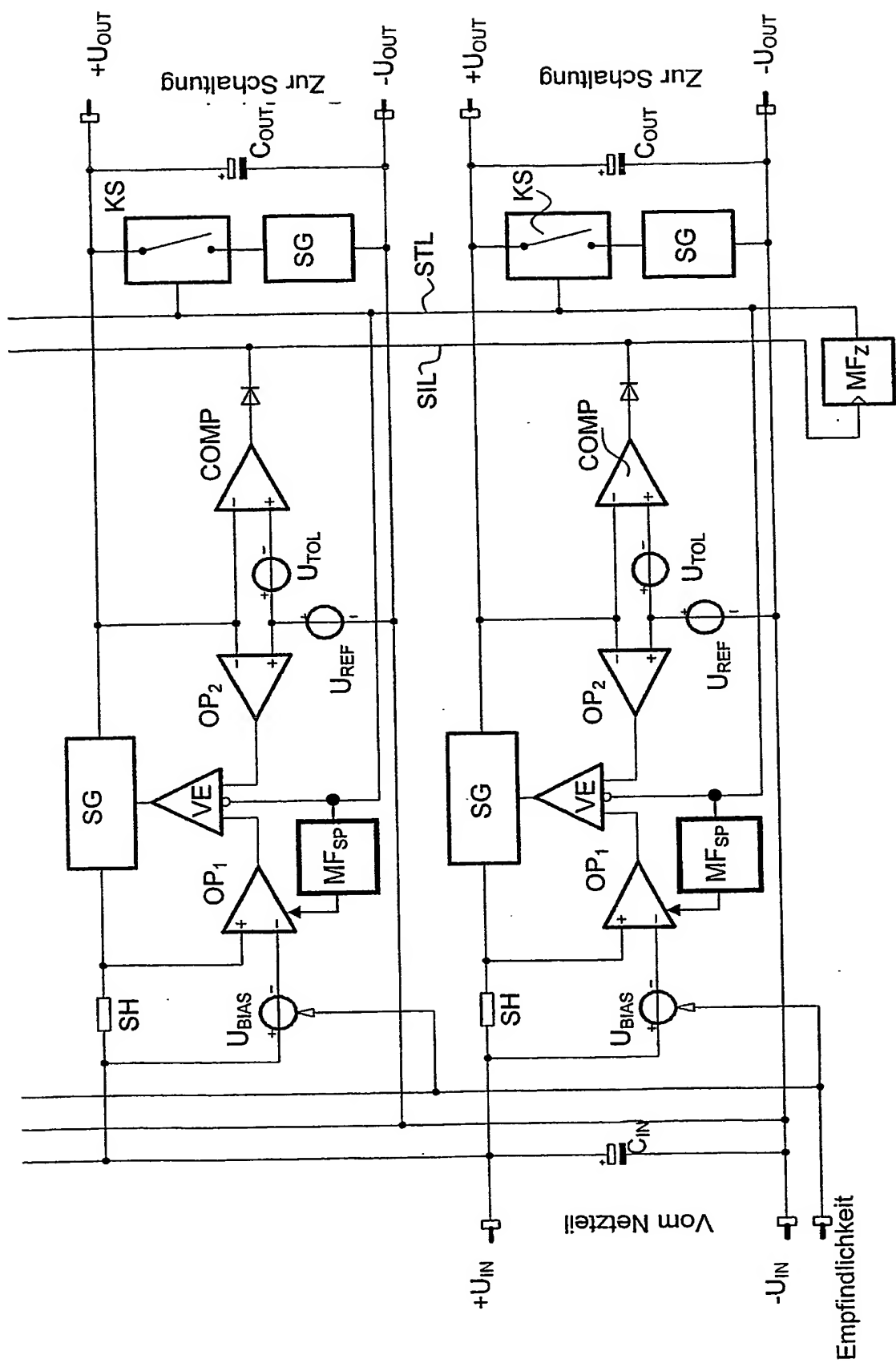


Fig.2





**Fig. 3**